

***Fly Ash* sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan**

Indrayani^{1a)}, Jessica Delvianty¹⁾, Mutiara Selmina²⁾, Andi Herius³⁾, Revias Noerdin⁴⁾

¹⁾ *Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia*

¹⁾Corresponding/ Main Contributor: iin_indrayani@polsri.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur terus dilakukan untuk percepatan pembangunan dalam mengejar ketinggalan dan meningkatkan daya saing nasional. Pelaksanaan pembangunan harus ramah lingkungan agar tidak menimbulkan dampak negatif sehingga pembangunan berkelanjutan dapat terwujud. Beton geopolimer merupakan teknologi beton yang ramah lingkungan dimana bahan dasar dari beton tersebut bukan menggunakan semen, melainkan sisa pembakaran batu bara, yaitu abu terbang (*fly ash*), sehingga sisa pembakaran batu bara dapat dimanfaatkan karena *fly ash* yang tidak dimanfaatkan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Metode yang digunakan dalam pengujian beton polimer ini menggunakan acuan SNI terhadap beberapa pengujian diantaranya pengujian agregat, pengujian kuat tekan beton normal K225 dan beton geopolimer dengan campuran larutan alkali berupa natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH), dalam perbandingan 1:1; 3:1; 5:1 pada umur 7, 14, dan 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan beton didapatkan kekuatan beton geopolimer meningkat pada campuran alkali dengan perbandingan 5:1, yaitu sebesar 395,56 kg/cm². Kenaikan kuat tekan beton ini sebesar 41,20 % dibanding dengan kuat tekan beton normal dengan kuat tekan 232,59 kg/cm²

Kata kunci : Beton Geopolimer, Fly Ash

PENDAHULUAN

Seiring dengan kebijakan pemerintah tentang pelaksanaan percepatan pembangunan untuk mengejar ketertinggalan dan meningkatkan daya saing nasional, maka pembangunan infrastruktur pada saat ini terus mengalami perkembangan. Sebagian besar infrastruktur yang dibangun menggunakan menggunakan beton sebagai bahan pembentuknya. Material utama dari pembuatan beton adalah semen, namun semen ini merupakan salah satu material yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dimana pabrik yang memproduksi semen menghasilkan gas karbondioksida (CO_2) yang dapat mencemari lingkungan dan meningkatkan pemanasan global. Untuk itu telah dilakukan berbagai inovasi dalam upaya menggantikan semen sebagai bahan dasar pembentuk beton yang ramah lingkungan, yaitu dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan dasar pengganti semen dalam pembuatan beton geopolimer. Beton geopolimer merupakan beton yang dibuat dari limbah pabrik batu bara atau *fly ash* yang dicampur dengan larutan alkali (NaOH & Na_2SiO_3) yang dapat dijadikan salah satu alternatif untuk mengurangi dampak negatif tersebut. Beberapa penelitian telah dilakukan terhadap beton geopolimer dengan bahan dasar *fly ash*, diantaranya penelitian tentang pasta geopolimer dengan bahan binder *fly ash* mempunyai waktu ikat yang lebih lama dibandingkan dengan pasta konvensional yang menggunakan semen sebagai binder dan berdasarkan pengujian kuat tekan tertinggi berada pada beton geopolimer dengan kenaikan mencapai 362,96 kg/cm² dengan perbandingan

$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 1:2 konsentrasi 8M [1], selanjutnya penelitian tentang perbandingan kandungan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ sebesar 2; 2,5; dan 3 tidak menyebabkan adanya perbedaan yang signifikan terhadap nilai kuat tekan geopolimer [2]. Penelitian lain tentang nilai kuat tekan beton *geopolymer* yang mengalami peningkatan seiring penambahan *curing time*, dimana kuat tekan yang maksimum terjadi pada *curing time* selama 24 jam dengan proses *curing oven* dengan konsentrasi 8M [3].

Dari latar belakang ini maka dapat dilakukan penelitian lanjutan terhadap beton geopolimer yang ramah lingkungan ini, untuk mendapatkan variasi perbandingan dari larutan alkali yang paling optimum dalam menghasilkan beton geopolimer, sehingga hasil dari penelitian dapat digunakan dalam pengembangan teknologi beton geopolimer yang ramah lingkungan.

Beton geopolimer merupakan beton geosintetik yang tidak menggunakan semen sebagai bahan dasar, tetapi menggunakan bahan *pozzolan* berupa *fly ash* yang banyak mengandung unsur alumina (Al) dan silika (Si) dimana unsur ini sangat memegang peranan penting dalam mempengaruhi karakteristik beton geopolimer [2]. Geopolimer sendiri adalah material abru tahan api dan panas, pelapis, dan perekat aplikasi obat, keramik suhu tinggi, pengikat baru untuk komposit serat tahan api, beracun dan radioaktif enkapsulasi limbah, dan semen baru untuk beton. Dalam pembuatan geopolimer dibutuhkan larutan alkali yang berfungsi sebagai pengaktif reaksi polimerisasi dari silika (Si) dan alumina (Al) yang terkandung dalam *fly ash*. Larutan alkali yang umum digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat [4] [6].

Kelebihan dari beton geopolimer adalah: (i) mempunyai nilai susut yang kecil; (ii) lebih tahan reaksi alkali-silika; (iii) tidak menggunakan semen yang dapat mengurangi polusi udara; (iv) tahan terhadap api. Sedangkan kekurangannya adalah: (i) proses pembuatannya lebih rumit daripada beton konvensional karena jumlah material yang dibutuhkan lebih banyak daripada beton konvensional; (ii) belum adanya *mix design* yang pasti. Adapun material penyusun dari beton geopolimer sebagai berikut : (i) abu terbang (*fly ash*); (ii) aktivator (Na_2SiO_3 &NaOH).

Kekuatan beton merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya per satuan luas [5]. Kekuatan tekan beton dapat mencapai 1000 kg/cm^2 atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan.

Kuat tekan yang diisyaratkan untuk menentukan proporsi campuran beton kekuatan tinggi dapat dipilih untuk umur 28 hari atau 56 hari. Campuran harus diproporsikan sedemikian rupa sehingga kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian di lapangan lebih tinggi dari pada kuat tekan yang disyaratkan f_c' [8].

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah [8]:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana: σ = kuat tekan beton (kg/cm^2); P = beban maksimum (kg); A = luas penampang (cm^2)

METODA PENELITIAN

Bahan dan Alat

Pembuatan benda uji (beton) dan pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Uji Bahan (uji material) Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan beton sebagai berikut: semen Portland tipe I merk Batu Raja, agregat halus, agregat kasar, air, *fly ash*, dan bahan kimia (Na_2SiO_3 &NaOH).

Sedangkan peralatan yang digunakan antara lain: peralatan untuk sumber agregat potensial (cangkul, linggis, sekop, belincong, meteran, satu set saringan ukuran 2,36 mm sampai 90 mm); peralatan untuk sumber bantuan

kompak (palu geologi, cangkul, linggis, belincong, meteran, timbangan); peralatan untuk tumpukan kerucut (plat baja, cangkul, sekop, meteran, timbangan, satu set saringan ukuran 2,36 mm sampai 90 mm), peralatan untuk tumpukan trapesium (plat baja, cangkul, sekop, meteran, timbangan, satu set saringan ukuran 2,36 mm sampai 90 mm), dan peralatan untuk agregat dari ban berjalan (template, sekop laboratorium, timbangan, kuas 75 mm, dan satu set saringan ukuran 2,36 mm sampai 90 mm).

Prosedur Penelitian

Analisa Bahan

Pengujian bahan merupakan tahap awal pengujian sebelum membuat campuran beton. Dimana dalam tahap pengujian ini terdiri dari beberapa pengujian yaitu: berat jenis agregat (kasar dan halus), bobot isi agregat (kasar dan halus), kadar air dan kadar lumpur agregat (kasar dan halus), analisa saringan agregat (kasar dan halus), uji konsistensi semen, berat jenis semen, waktu ikat semen, dan berat jenis *fly ash*.

Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Slump Beton

Pada tahap ini dilakukan pencampuran semua agregat yang telah dilakukan pengujian sebelumnya, dengan variasi komposisi campuran *fly ash* sebagai pengganti semen dan campuran larutan alkali ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) dengan perbandingan sebesar 1:1, 3:1, dan 5:1. Setiap variasi komposisi membuat 3 buah benda uji, setiap satu variasi benda uji dibuat 3 waktu pengujian yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah adukan beton telah memenuhi slump rencana yaitu 60-180 mm dan pengaruh faktor air semen terhadap adukan beton.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan setiap 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Setiap kali pengujian dilakukan 3 buah benda uji, hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *fly ash* dan larutan alkali ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) terhadap kuat tekan beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Sipil. Hasil pemeriksaan analisa agregat halus, agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Penelitian Agregat Halus

No.	Uraian	Keterangan
1.	Kadar Air (%)	3,21
2.	Kadar Lumpur (%)	0,61
3.	Berat Jenis Kering	2,49

4.	Berat Jenis SSD	2,55
5.	Penyerapan (%)	2,52
6.	Bobot Isi Gembur (gr/cm^3)	1,25
7.	Modulus Kehalusan	3,7
8.	Zone Gradasi	Zone 2

Tabel 2. Data Penelitian Agregat Kasar

No.	Uraian	Keterangan
1.	Kadar Air (%)	1,02
2.	Kadar Lumpur (%)	1,84
3.	Berat Jenis Kering	2,51
4.	Berat Jenis SSD	2,54
5.	Penyerapan (%)	1,23
6.	Bobot Isi Gembur (gr/cm^3)	1,25
7.	Modulus Kehalusan	7,1

Perhitungan Desain Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton ini menggunakan standar SNI 03-2834-2000. Adapun ketentuan-ketentuan yang digunakan campuran beton ini sebagai berikut : (i) beton dengan kuat tekan K-225 untuk umur 28 hari ; (ii) digunakan semen Batu Raja tipe 1; (iii) tinggi *slump* perencanaan diambil 60 - 180 mm; (iv) besar butir agregat maksimum adalah 20 mm; (v) faktor air semen maksimum 0,54; dan (vi) kadar semen maksimum 380 kg/m^3 . Hasil perhitungan desain campuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Desain Campuran

Uraian	Perhitungan	Hasil
Ukuran kubus	15 x 15 x 15 cm	
Volume kubus	$0,15 \times 0,15 \times 0,15$	$0,003375 \text{ m}^3$
Semen	$0,003375 \times 380$	1,28 kg~1,3kg
Pasir	$0,003375 \times 698,03$	2,36 kg
Split	$0,003375 \times 1004,47$	3,39 kg~3,4kg
Air	$0,003375 \times 205$	0,69 kg~0,7kg

Perbandingan Campuran Beton

Jumlah material dibuat sesuai dengan presentase yang telah ditentukan dalam *mixdesign* dan berat isi ditetapkan sebanyak 7760 gram per sampel kubus. Perbandingan campuran beton normal dan beton geopolimer dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Komposisi Material Beton Normal

Campuran (Na ₂ SiO ₃ / NaOH)	Bahan Material Beton Normal dan Beton Geopolimer (gram)						
	Semen	<i>Fly Ash</i>	Air	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Pasir	Split
0	1300	-	700	-	-	2360	3400

Tabel 5. Komposisi Material Beton Geopolimer

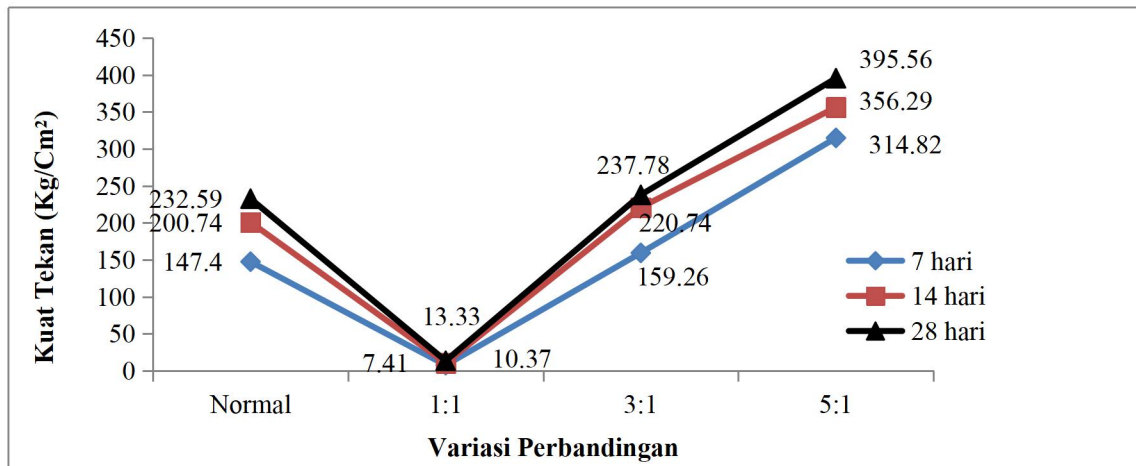
Campuran (Na ₂ SiO ₃ /NaOH)	Bahan Material Beton Normal dan Beton Geopolimer (gram)						
	Semen	<i>Fly Ash</i>	Air	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Pasir	Split
1 : 1	-	1300	-	350	350	2360	3400
3 : 1	-	1300	-	175	525	2360	3400
5 : 1	-	1300	-	116.67	583.33	2360	3400

Analisa Pengujian Kuat Tekan Beton

Setiap variasi campuran diuji dalam 3 waktu, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Hasil uji kuat tekan dari setiap variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 6 dan Grafik 1.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Setiap Benda Uji

Umur Benda Uji	Rata-rata Kuat Tekan Benda Uji (kg/ cm ²)			
	B. Normal	B. Geopolimer (1:1)	B. Geopolimer (3:1)	B. Geopolimer (5:1)
7	147,40	7,41	159,26	314,82
14	200,74	10,37	220,74	356,29
28	232,59	13,33	237,78	395,56



Grafik 1. Perbandingan Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan beton normal pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan sebesar 232,59 kg/cm², sedangkan pada beton geopolimer dengan perbandingan 1 : 1 pada umur 28 hari didapatkan kuat tekan sebesar 13,33 kg/cm², jika dibandingkan dengan kekuatan beton normal maka nilai kuat tekan ini berada jauh dibawah kekuatan beton normal pada umur yang sama, sehingga beton geopolimer dengan perbandingan 1 : 1 tidak dapat digunakan sebagai pengganti beton normal. Hal ini didukung dengan penelitian yang telah dilakukan dan menyebutkan bahwa beton polimer dengan penambahan *fly ash* tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan dengan beton normal [2]. Kuat tekan beton geopolimer dengan perbandingan 3:1 pada umur 28 hari sebesar 237,78 kg/cm², nilai kuat tekan ini lebih tinggi 2,18% dari kuat tekan beton normal pada umur yang sama, dari hasil ini maka beton geopolimer dengan perbandingan 3 : 1 dapat digunakan sebagai pengganti beton normal. Sedangkan kuat tekan beton polimer dengan perbandingan 5 : 1 pada umur 28 hari sebesar 395,56 kg/cm², nilai kuat tekan mengalami kenaikan sebesar 41,20% dari kuat tekan beton normal. Dari hasil yang ada maka semakin tinggi perbandingan Na₂SiO₃/ NaOH, maka kuat tekan beton geopolimer dengan menggunakan *fly ash* semakin tinggi, didukung pula oleh penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa semakin besar penambahan Na₂SiO₃/NaOH terhadap *fly ash* mengakibatkan penambahan kuat tekan walaupun penambahan yang dilakukan penelitian sebelumnya tidak signifikan [2].

KESIMPULAN

Suhu vulkanisasi dan bahan pengisi pati singkong modifikasi berpengaruh terhadap sifat mekanik vulkanisat *seal radiator*, meliputi kekerasan, tegangan putus, ketahanan sobek dan pampatan tetap. Perlakuan terbaik yang memenuhi persyaratan karet *seal radiator* komersil adalah Perlakuan suhu vulkanisasi 150 °C dan pati singkong modifikasi konsentrasi 45 dan 55 phr, dengan nilai kekerasan 65 Shore A dan 68 Shore A , tegangan putus 138 kg/cm² dan 142 kg/cm², ketahanan sobek 38 kg/cm dan 43 kg/cm dan pampatan tetap 35,01% dan 33,6%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada Politeknik Negeri Sriwijaya atas pendanaan dan fasilitas laboratorium yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Qomaruddin, M., Munawaroh, T.H., Sudarno. Studi Komperasi Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Berton Konvensional. Prosiding SNST, 2018, Vol. 1, No.1, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang.
- [2] Satria. J., Sugiarto, A., Antoni, Hardjito, D. Karakteristik Beton Geopolimer Berdasarkan Variasi Waktu Pengambilan Fly Ash. Jurnal Dimensi Pramatom Teknik, 2016, Vol. 5, No. 1: 227-282.
- [3] Sumajouw, M.D.J., Windah, R.S. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). Jurnal Sipil Statistik, 2014, Vol. 2, No. 6: 227-282.
- [4] Lloyd, N. and Rangan, B.V. Geopolymer Concrete with Fly Ash. Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, June 28 -30, 2010, Universita Politecnica delle Marche, Ancona, Italy.
- [5] Mulyono. T. Teknologi Beton. Edisi Kedua, 2005, Andi, Yogyakarta.
- [6] Lloyd, N. and Rangan, B.V., Geopolymer Concrete; Sustainable Cement less Concrete. Proceedings of the 10th ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues, Seville, ACI SP- 261, 2009, 33-54
- [7] ASTM C618. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. Annual Book of ASTM Standards, 3–6. doi:10.1520/C0618'
- [8] SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional.